



TITLE:

Prediction of Drying Shrinkage Cracking of Steel Chip Reinforced Polymer Cementitious Composites Considering Bond and Tensile Creep(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Sunhee, Hong

CITATION:

Sunhee, Hong. Prediction of Drying Shrinkage Cracking of Steel Chip Reinforced Polymer Cementitious Composites Considering Bond and Tensile Creep. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-09-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19300>

RIGHT:

許諾条件により本文は2016-03-31に公開

京都大学	博士（ 工学 ）	氏名	洪 善熙
論文題目	Prediction of Drying Shrinkage Cracking of Steel Chip Reinforced Polymer Cementitious Composites Considering Bond and Tensile Creep		
<p>本研究は精工鋼板加工時に発生し、鉄鋼産業廃棄物として処分されている切削片（スチールチップ）を、既存鋼繊維に代わるセメント系材料の補強材として再利用することを目的としている。このスチールチップ補強セメント系複合材料（Steel Chip Reinforced Cementitious Composites: SCRCC）に加えて、セメント系材料の物性と耐久性などを改善するセメント混和用ポリマーを混入したスチールチップ補強ポリマーセメント系複合材料(Steel Chip Reinforced Polymer Cementitious Composites: SCRPPC)を開発し、建築材料としての適用可能性を提案している。本研究では、特に、SCRCC と SCRPPC の乾燥収縮ひび割れ予測を重点目標とし、研究を進めた結果を学位論文にまとめたものであり、8 章で構成されている。</p> <p>第 1 章は、序論であり、この研究を始めるに至った背景と本研究の目的を示しており、学位論文全体の構成を簡略に紹介している。</p> <p>第 2 章は、既往の研究であり、四つの節で構成されている。最初に、一般的な従来の繊維補強セメント系複合材料に関する既往の研究を調査して考察している。二番目に、本研究で使用したスチールチップに関する既往の研究を調査及び考察し、スチールチップの新しい補強材としての適用可能性などを示している。三番目に、本研究でスチールチップと共に主要材料である、セメント混和用ポリマーに対して、既存の文献を調査及び考察している。最後に、本研究の主題である収縮ひび割れに対する既往の研究を調査し、収縮ひび割れに関して、概念整理や他研究の結果などを示している。</p> <p>第 3 章は、SCRCC と SCRPPC の力学的特性を実験的に定量化している。圧縮試験、割裂試験、および 3 点曲げ試験を実施した結果をもとに、圧縮強度、引張強度、応力－ひずみ関係などの基礎的な物理特性を定量化し、無補強モルタルに比べて高い靱性を有することを確認している。</p> <p>第 4 章は、SCRCC と SCRPPC の乾燥収縮特性を実験的に検討している。ここでは試験区間長 2500mm の壁試験体を 8 体作成し、その両端部を鋼製反力床に固定して拘束し、拘束乾燥収縮ひび割れ性状を長期計測している。試験体は補強鉄筋の本数、スチールチップの補強の有無、およびバインダー（普通セメントモルタルおよびポリマーセメントモルタル）を実験変数に設定している。拘束壁収縮試験体からは、収縮ひずみと拘束収縮によって生じたひび割れの特性に関してデータを収集して示している。あわせて同じ調合で作成した自由収縮試験体のひずみも計測し、拘束試験体と比較している。その結果、ポリマー混入の有無に関わらず、普通モルタル（Normal Mortar: NM）、及びポリマーセメントモルタル（Polymer Cement Mortar: PCM）をスチールチップにより補強することによって、乾燥収縮ひずみと乾燥収縮によって生じたひび割れの本数を減少させることを確認している。拘束壁収縮試験体に生じたひずみ、ひび割れ本数、およびひび割れ分布のデータは、繊維補強セメント系材料のみならずコンクリート系材料全般の研究の基礎データとして活用できるよう詳細に記録されている。</p> <p>第 5 章は、SCRCC および SCRPPC と鉄筋の付着特性を実験的に検証している。円柱形及び角柱形のセメント系複合材料試験体に鉄筋を埋め込み、片引き試験と両引き試験を行い、その付着性状とひび割れ性状から得られた知見を示している。100 体を超える試験体による実験の結果、(1)片引き試験の最大付着応力は NM と SCRCC であまり差異はないものの、スチールチップにより割裂がおこりにくくなること、(2)両引き試験の平均ひび割れ間隔はスチールチップの補強によって減少する傾向があること、(3) PCM と SCRPPC の比較実験においても上記(1)、(2)と同様の傾向が見られることを示している。</p> <p>第 6 章は、SCRCC と SCRPPC のクリープ特性を実験的に検証している。実験においては、てこ式の試験機を作成し、角柱型試験体の曲げクリープひずみを長期計測している。実</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	洪 善熙
<p> 験変数は、バインダー種類、スチールチップ補強の有無、および載荷開始材齢としている。実験の結果、スチールチップ補強がクリープひずみを低減することを確認している。この効果はポリマー混入の有無、載荷開始材齢に関わらず同様である。 </p> <p> 第7章は、4章で実施した拘束壁乾燥収縮試験体のひび割れ本数と平均開口幅の数値解析による予測を示している。この解析はセメント系複合材料と鉄筋の付着応力一すべりを考慮して材料内の応力変化を逐次計算し、ひび割れ発生を予測している。当初の解析においては、5章の実験結果から得られた付着性状を考慮する一方、クリープの影響は無視して解析している。その結果、実験によるひび割れ本数を過大評価することが確認されている。そこで、この過大評価を解決するために、6章のクリープ実験に基づいて、CEB-FIP Model Code 1990のクリープ係数算定式を修正したクリープ係数モデルを提案し、乾燥収縮ひび割れの本数予測を行っている。その結果、実験によるひび割れ本数をほぼ正確に予測することを確認している。 </p> <p> 第8章は、結論であり、本論文で得られた成果について要約し、今後の研究課題を提案している。本研究で行った実験と解析の結果を通じて、スチールチップ補強セメント系複合材料（SCRCC）とスチールチップ補強ポリマーセメント系複合材料（SCRPPC）の実用的な調合法と基本的な材料性能を示すとともに、クリープ性状、および鋼材との付着性状を計測してモデル化し、乾燥収縮ひび割れの正確な予測手法を構築したことを、要約して記述している。この成果により、鉄鋼産業廃棄物であるスチールチップを有効に活用した、長期的耐久性に優れる新材料の性能を確認している。 </p> <p> 8章の最後においては、今後の課題と提案を示している。本研究で使用したSCRCCは高強度用モルタルを、SCRPPCは普通強度のベースモルタルを使っている。その調合の違いにより、普通モルタルにポリマーを混入した効果を十分に比較できなかったため、シルリカフュームなどを使わず、最も一般的な普通セメントモルタル、これにポリマーを混入したポリマーセメントモルタル、それぞれにスチールチップを補強したSCRCCとSCRPPC4つの材料に対して、調合を適切に整合させて検討する必要性を提案している。また、スチールチップの不安定な形による打設時の混入率のばらつき、及びそれに起因する各種材料試験結果のばらつきを低減するため、スチールチップ自体の形態から安定化する必要性も提案している。そして、建築材料でセメントを代替する様々な無機材料を活用するジオポリマー複合体に対しても、スチールチップの適用の可能性を検討することにより、基本バインダーと補強材料すべてが新しい建設材料・環境材料として開発し得る可能性を提案している。 </p>			

氏 名	洪 善熙
-----	------

本研究は精工鋼板加工時に発生する切削片（スチールチップ）を、既存鋼繊維に代わるセメント系材料の補強材として再利用したスチールチップ補強セメント系複合材料（SCRCC）、およびセメント系材料の物性と耐久性などを改善するセメント混和用ポリマーを混入したスチールチップ補強ポリマーセメント系複合材料（SCRPPC）を開発し、建築材料としての適用可能性を実験と解析から検証している。特に、SCRCC と SCRPPC の乾燥収縮ひび割れの予測を重点的に研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 乾燥収縮ひび割れ実験の結果、ポリマー混入に関わらず、スチールチップが、乾燥収縮ひずみと乾燥収縮によって生じたひび割れの本数を減少させる有効な材料であることを明らかにした。
2. 付着特性においては 片引き試験と両引き試験を行った結果、ポリマー混入に関わらず、スチールチップ補強によって付着靱性が改善されるとともに、一軸引張応力下のひび割れ開口幅が抑制されることを明らかにした。
3. クリープ特性に関して曲げクリープ実験を実施した結果、クリープ特性に対してもポリマー混入に関わらず、スチールチップの補強によってクリープひずみを抑制する効果があることを明らかにした。
4. 乾燥収縮ひび割れの予測においては、付着—すべり関係とクリープ特性の双方を考慮した解析により、拘束壁試験体に生じた乾燥収縮ひび割れの本数を、ほぼ正確に予測した。

本論文は環境問題を考慮した SCRCC および SCRPPC という新建築材料の開発と共に、乾燥収縮ひび割れ本数と平均開口幅の正確な予測手法を構築している。さらに、SCRCC および SCRPPC の積極的な活用により、鉄鋼産業廃棄物の低減、資源節約及びコスト節減などいろいろな環境負荷低減が期待され、学術上、及び実用上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年7月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。